

Interaksi Psikofisiologi antara Girus Presentral dan Lobus Parietal Superior Kanan (Psychophysiologic Interaction between Right Precentral Gyrus and Superior Parietal Lobule)

A.N. YUSOFF*

ABSTRAK

Kajian pengimejan resonans magnet kefungsi (fMRI) subjek tunggal ini menyelidiki interaksi psikofisiologi (PPI) antara girus presentral (PCG) dan lobus parietal superior (SPL) kanan semasa tepikan jari rentak sendiri secara bilateral. Model hubungan efektif antara PCG dan SPL kanan dibina menggunakan analisis PPI dengan mengambil daya dan laju tepikan sebagai faktor uji kaji. Keputusan menunjukkan bahawa peningkatan daya dan laju tepikan masing-masing mengaktifkan PCG bilateral dan SPL kanan secara bererti ($p < 0.05$). PCG dan SPL kanan didapati saling berhubungan semasa tepikan jari dilakukan dengan daya dan laju tepikan sebagai faktor uji kaji yang mempengaruhi hubungan efektif antara mereka. Kajian ini telah mendedahkan maklumat asas berguna untuk kajian fMRI pada masa depan ke atas koordinasi motor dan boleh digunakan untuk mengkaji ketaktertiban otak misalnya strok.

Kata kunci: fMRI; hubungan efektif; pemetaan statistik berparameter; tepikan jari

ABSTRACT

This single participant functional magnetic resonance imaging (fMRI) study investigated the psychophysiologic interaction (PPI) between the right precentral gyrus (PCG) and superior parietal lobule (SPL) during bilateral self-paced tapping of hand fingers with the tapping force and speed as experimental factors. The effective connectivity model between the right PCG and SPL was established using PPI analysis. The results indicated that the increase in tapping force and speed significantly ($p < 0.05$) activate bilateral PCG and right SPL, respectively. The right PCG and SPL were found to be interconnected when finger tapping is performed with the tapping force and speed as the experimental factors that influenced the effective connectivity between them. This study has revealed useful fundamental information for future fMRI studies on motor coordination and is implementable in studying brain disorders such as stroke.

Keywords: Effective connectivity; finger tapping; fMRI; statistical parametric mapping

PENDAHULUAN

Korteks berkaitan motor adalah kawasan spesifik di dalam otak yang bertanggungjawab mengawal dan menyelaraskan pergerakan anggota atas dan bawah. Kawasan otak yang dikelaskan sebagai korteks berkaitan motor adalah korteks somatoderia primer (Kawasan Brodmann (BA) 1, 2 dan 3), korteks motor primer (BA4), korteks kesatuan somatoderia (BA5), korteks motor suplimen dan korteks premotor (BA6) (Grefkes et al. 2008). Selain itu, serebelum iaitu struktur otak di luar korteks juga mempunyai peranan penting dalam mencetus dan menyelaraskan tindakan motor (Koenke et al. 2004a, 2004b; Lutz et al. 2005). Korteks berkaitan motor juga terlibat dalam pergerakan lain-lain anggota sama ada secara terkawal atau luar kawal misalnya korteks kesatuan somatoderia (BA7) berfungsi dalam penentuan lokasi objek di dalam ruang, mengkoordinasi pergerakan berkemahiran terancang dan pemprosesan visual-ruang, korteks dorsolateral prefrontal (BA8) berfungsi mengawal pergerakan kelopak mata dan korteks somatoderia primer (BA 1, 2 dan 3) untuk pergerakan lidah dan muka (Trans Cranial Technologies 2012). Malah, terdapat juga korteks berkaitan motor yang terlibat dalam proses kognitif

otak seperti ingatan bekerja misalnya korteks motor suplimen (SMA) dan korteks premotor, kedua-duanya dalam kawasan BA6 (Trans Cranial Technologies 2012). Kebolehan suatu kawasan otak untuk terlibat dalam dua atau lebih kefungsi dinamakan persepaduan kefungsi. Persepaduan kefungsi pula difahami sebagai terdiri daripada dua cabang utama iaitu hubungan kefungsi dan hubungan efektif (Friston et al. 2003).

Persoalan kajian ini adalah bagaimana kawasan korteks berkaitan motor berhubungan antara satu sama lain dalam melaksanakan satu tugas dengan dan tanpa kehadiran faktor uji kaji seperti daya dan kelajuan tepikan. Persoalan ini boleh dijawab melalui analisis interaksi psikofisiologi (PPI) (Friston et al. 1997). Interaksi psikofisiologi membawa maksud bahawa pengaruh suatu kawasan pengaktifan ke atas kawasan pengaktifan lain berubah secara bererti dengan kehadiran faktor uji kaji. Ini memungkinkan respons suatu kawasan pengaktifan dapat diramal berdasarkan kepada aktiviti suatu kawasan lain di dalam otak yang terletak pada satu jarak tertentu, di samping menentukan kesan faktor uji kaji ke atas hubungan tersebut. Analisis regresi yang dijalankan menentukan magnitud perubahan kecerunan garis dalam

dua keadaan uji kaji yang berbeza dan menyimpulkan sama ada wujud ataupun tidak interaksi psikofisiologi dengan membandingkan nilai kedua-dua kecerunan garis tersebut.

Secara khusus, kajian ini menentukan kawasan korteks yang mengalami pengaktifan bererti yang lebih tinggi semasa tepikan dengan daya berbanding tepikan dengan sentuhan, menentukan kawasan korteks yang mengalami pengaktifan bererti yang lebih tinggi semasa tepikan laju berbanding tepikan perlahan dan menentukan interaksi psikofisiologi antara kawasan pengaktifan yang terhasil dengan daya dan laju tepikan sebagai faktor uji kaji.

KAEDAH UJI KAJI

Imbasan pengimejan resonans magnet kefungsi (fMRI) dilakukan ke atas seorang subjek lelaki Melayu menggunakan sistem MRI 3T (model Siemens magnetom verio) di Jabatan Radiologi, Pusat Perubatan Universiti Kebangsaan Malaysia. Subjek bersetuju untuk mengambil bahagian dengan mengisi dan menandatangani borang persetujuan menyertai kajian, selepas diberi penerangan lengkap mengenai uji kaji yang akan dilalui dan kemungkinan risiko yang bakal dihadapi. Penyelidikan ini dijalankan di bawah kelulusan Jawatankuasa Etika Penyelidikan UKM (No Rujukan: NN-197-2010).

Subjek diberikan penerangan tentang bagaimana untuk melakukan tugas tepikan jari dan beliau dibenarkan berlatih sebelum sesi imbasan dimulakan. Subjek dikehendaki menepik ibu jari secara bilateral menggunakan keempat-empat jari yang lain apabila mendengar arahan mula, bermula dengan tepikan jari kelingking terhadap ibu jari dan seterusnya jari-jari lain terhadap ibu jari. Tepikan jari kedua-dua tangan kanan dan kiri adalah serentak atau sefasa. Aktiviti ini berterusan dan diulang dengan tepikan jari kelingking terhadap ibu jari semula dan seterusnya sehingga arahan berhenti diberikan. Rajah 1(a) menunjukkan cara bagaimana tepikan dilakukan. Kajian ini menggunakan tepikan jari rentak sendiri. Untuk tepikan jari rentak sendiri tersebut, subjek dikehendaki melakukan empat cara tepikan iaitu 1) sentuh-perlahan (SP), 2) sentuh-laju (SL), 3) tekan-perlahan (TP) dan 4) tekan-laju (TL). 'Sentuh' bermaksud subjek menepik jari secara sentuhan sahaja manakala 'tekan' bermaksud daya sederhana kuat dikenakan antara jari yang menepik dengan ibu jari. Untuk 'perlahan', tepikan adalah sekitar 2 kali dalam satu saat dan untuk 'laju' sekitar 4 kali dalam satu saat. Fon telinga dipakai oleh subjek sepanjang sesi imbasan untuk menerima arahan.

Untuk tepikan secara rentak sendiri ini, keempat-empat jenis tepikan SP, SL, TP, TL dilakukan secara bergilir-gilir oleh subjek berpanduan arahan yang diberikan secara auditori iaitu SEDIA (disebut jenis tepikan yang perlu dilakukan subjek). MULA dan BERHENTI. Subjek diminta mengulang semula tepikan secara SP, SL, TP, TL setelah satu kitar dilengkapkan. Satu paradigma jenis blok aktif-rehat 24 kitar digunakan dalam kajian ini seperti pada Rajah 1(b). Untuk keadaan aktif (tepikan dilakukan) sebanyak

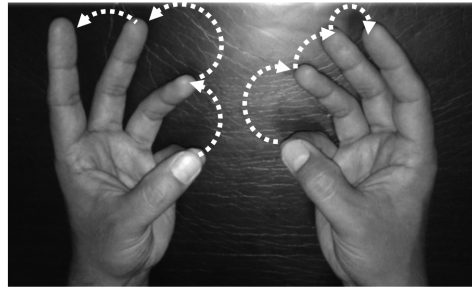
20 pengukuran dilakukan manakala untuk keadaan rehat (subjek rehat) sebanyak 10 pengukuran dilakukan menjadikan keseluruhannya 80 pengukuran untuk setiap jenis tepikan dan 160 pengukuran untuk keadaan rehat. Jumlah pengukuran untuk setiap sesi imbasan adalah 480. Setiap pengukuran menghasilkan sebanyak 25 imej hirisan aksial dalam tempoh 2 saat (TA). Setiap sesi imbasan pula bermula dengan keadaan rehat. Masa pengimejan untuk setiap sesi imbasan adalah selama $(2s + 1s) \times 480$ pengukuran = $1440s = 24$ min yang menghasilkan sebanyak $480 \times 25 = 12000$ imej kesemuanya. Imej kefungsi berlawanan T2* beresolusi tinggi diperoleh menggunakan saiz voksel $1.64 \text{ mm} \times 1.64 \text{ mm} \times 4.00 \text{ mm}$.

Data fMRI dianalisis menggunakan pemetaan statistik berparameter SPM8 (Functional imaging laboratory, Wellcome Department of Imaging Neuroscience, Institute of Neurology, Universiti College of London) yang menggunakan perisian MATLAB 7.4 versi 2007a (Mathworks Inc., Natick, MA, USA) sebagai pelantar (Ahmad et al. 2011; Yusoff et al. 2010). Analisis interaksi psikofisiologi (PPI) digunakan dalam kajian ini untuk menentukan respons pada satu kawasan sasaran. Respons pada kawasan sasaran tersebut akan dibincangkan sebagai terhasil daripada interaksi antara pengaruh kawasan lain (dinamakan kawasan punca) ke atas kawasan sasaran dengan faktor uji kaji (Friston et al. 1997).

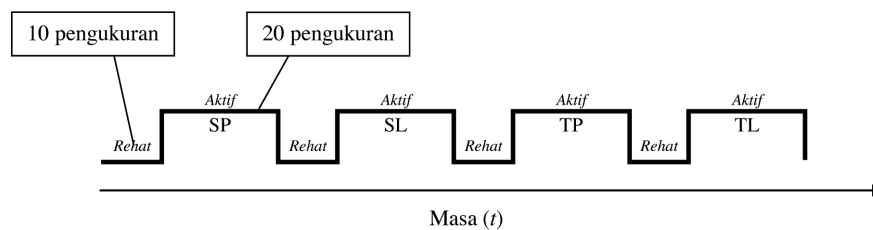
Ilustrasi model PPI yang digunakan dalam kajian ini ditunjukkan dalam Rajah 1(c). Sfera berjejari 4 mm yang berpusat pada titik dengan keamatan maksimum bagi setiap kawasan sasaran dan punca dibina dan nilai PPI diperoleh melalui proses anggaran. Respons PPI bagi kawasan sasaran (pbolehkan ubah bersandar) diplotkan melawan aktiviti kawasan punca (pbolehkan ubah tak bersandar) yang diandaikan berinteraksi dengan faktor uji kaji (misalnya laju dan daya tepikan) yang kemudiannya mempengaruhi aktiviti pada kawasan sasaran. Interaksi psikofisiologi dikatakan wujud sekiranya wujud perbezaan bererti dalam kecerunan garisan bagi graf respons PPI kawasan sasaran melawan respons PPI kawasan punca antara dengan dan tanpa kehadiran faktor uji kaji. Analisis regresi dijalankan bagi menguji kewujudan hubungan antara respons kawasan sasaran dan aktiviti kawasan punca pada aras keertian $\alpha = 0.05$ (sela keyakinan 95%).

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

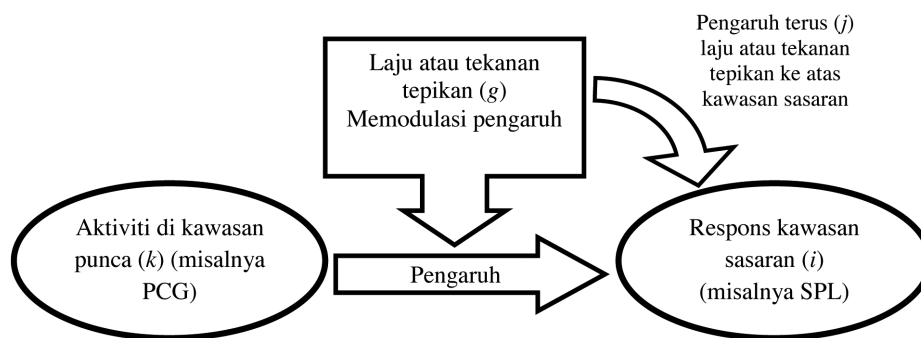
Jadual 1 adalah keputusan analisis konjungsi (Friston et al. 2005) yang dijalankan untuk menentukan kawasan otak tertentu yang terlibat dalam kesemua empat cara tepikan jari rentak sendiri iaitu SP, SL, TP dan TL. Sejumlah 8 kelompok pengaktifan bererti ($p < 0.05$) ditunjukkan. Kesemua voksel dalam setiap kelompok juga mengalami pengaktifan bererti ($t > 4.82, p < 0.05$). Dapat diperhatikan bahawa serebelum bilateral kawasan girus presentral PCG, girus pos sentral (pos CG), serebelum vermis dan lobus parietal superior (SPL) kiri adalah kawasan otak berkaitan motor yang terlibat dalam kesemua cara tepikan jari. Tiga kelompok pengaktifan dengan jumlah voksel aktif tertinggi



(a)



(b)



(c)

RAJAH 1. a) Gambar foto menunjukkan cara tepikan jari dilakukan, b) rajah pemaasan pengukuran fMRI dan c) model interaksi psikofisiologi (PPI) yang digunakan

adalah pada PCG bilateral, serebelum bilateral dan SMA. Keputusan analisis konjungsi juga mendapati koordinat dengan keamatan maksimum ($t = 13.48$) berlaku pada koordinat 38/-6/64 iaitu pada PCG kanan.

Jadual tersebut juga menyenaraikan kelompok yang menunjukkan pengaktifan yang lebih tinggi secara bererti ($p < 0.05$) semasa tepikan menekan berbanding semasa tepikan menyentuh tanpa mengambil kira laju tepikan. Keputusan tersebut diperoleh dengan melakukan analisis penolakan berganda iaitu dengan mengeluarkan kesan yang mungkin wujud akibat perubahan dalam kelajuan tepikan dan kemudiannya menyatukan kesan yang mungkin wujud akibat perubahan dalam daya tepikan. Pada aras keertian yang tinggi ini, tujuh kelompok dengan

pengaktifan bererti dilihat berlaku pada PCG kanan, PCG kiri, girus postsentral kiri, serebelum (Crus 2) kanan dan girus rektal kiri. Voksel dengan keamatan maksimum terletak dalam kawasan PCG kanan pada koordinat 38/-28/64. Kesemua voksel dalam setiap kelompok juga mengalami pengaktifan bererti ($t > 4.82$, $p < 0.05$).

Analisis yang sama dilakukan untuk menentukan kesan peningkatan laju tepikan. Ini dilakukan dengan mengeluarkan kesan yang mungkin wujud akibat perubahan dalam daya tepikan dan kemudiannya menyatukan kesan yang mungkin wujud akibat perubahan dalam laju tepikan. Keputusan mendapati hanya kawasan lobus parietal superior (SPL) kanan yang menunjukkan pengaktifan yang lebih tinggi secara bererti semasa tepikan laju berbanding

JADUAL 1. Ciri pengaktifan otak yang diperoleh daripada analisis konjuksi bagi mendapatkan kesan sepunya dan analisis penolakan berganda bagi mendapatkan kesan tekanan dan laju tepikan

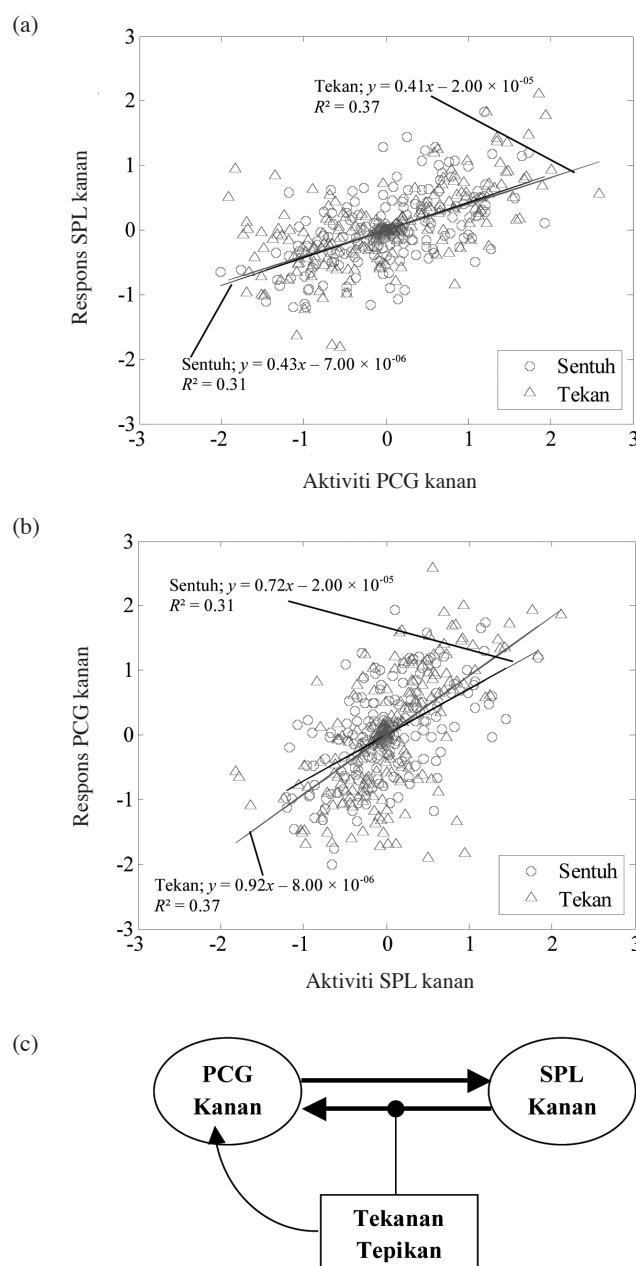
Kelompok Aktif	Nilai <i>p</i> kelompok aktif	Bilangan voksel kelompok aktif	Nilai <i>p</i> voksel berkeamatan maksimum	Nilai <i>t</i> voksel berkeamatan maksimum	Koordinat voksel dengan keamatan maksimum			Kawasan pengaktifan
					<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	
<i>Analisis konjungsi</i>								
1	< 0.05	1529	< 0.05	13.48	38	-6	64	Girus frontal superior, postsentral dan presentral kanan (BA6, 1, 2, 3b kanan)
2	< 0.05	579	< 0.05	12.54	-18	-54	-26	Serebelum (VI) kiri
3	< 0.05	1295	< 0.05	10.68	-42	-30	62	Girus postsentral dan presentral kiri (BA6, 3b, 1, 2 kiri)
4	< 0.05	406	< 0.05	10.44	24	-50	-26	Serebelum (VI) kanan
5	< 0.05	208	< 0.05	8.14	0	2	58	SMA kiri dan kanan (BA6 kiri dan kanan)
6	< 0.05	38	< 0.05	6.70	-2	-66	-20	Serebelum vermis (6)
7	0.014	5	0.013	5.13	-28	-50	66	Lobus parietal superior kiri (BA7a, 1, 5L, 2)
8	0.025	2	0.016	5.08	24	0	72	Tidak ditakrifkan
<i>Kesan tekanan tepikan</i>								
1	0.001	29	0.001	5.71	38	-28	64	Girus presentral kanan (BA 6, 4a, 1 kanan)
2	0.001	27	0.002	5.56	44	-14	52	Girus presentral kanan (BA 6, 4a, 3b dan 1 kanan)
3	0.001	28	0.003	5.42	-48	-22	62	Girus postsentral dan presentral kiri (BA 1, 4a dan 6 kiri)
4	0.012	6	0.014	5.12	48	-64	-50	Serebelum (Crus 2) kanan
5	0.025	2	0.044	4.85	-34	-12	62	Girus presentral kiri (BA 6)
6	0.033	1	0.025	4.99	-38	-16	48	BA 4a dan 4p kiri
7	0.033	1	0.025	4.85	-8	20	-16	Girus rektal kiri
<i>Kesan laju tepikan</i>								
1	0.021	3	0.028	4.96	28	-60	64	Lobus parietal superior kanan (BA 7a)

semasa tepikan perlahan, pada aras kelompok dan aras voksels dengan aras keertian α ditetapkan tinggi pada 0.05 (Jadual 1). Voksels dengan keamatan maksimum terletak dalam kawasan SPL kanan pada koordinat 28/-60/64. Walaupun bilangan voksels yang mengalami pengaktifan dalam analisis kesan daya dan kesan laju adalah jauh lebih kecil berbanding dengan analisis konjungsi, pengaktifan tersebut berlaku pada aras keertian yang tinggi.

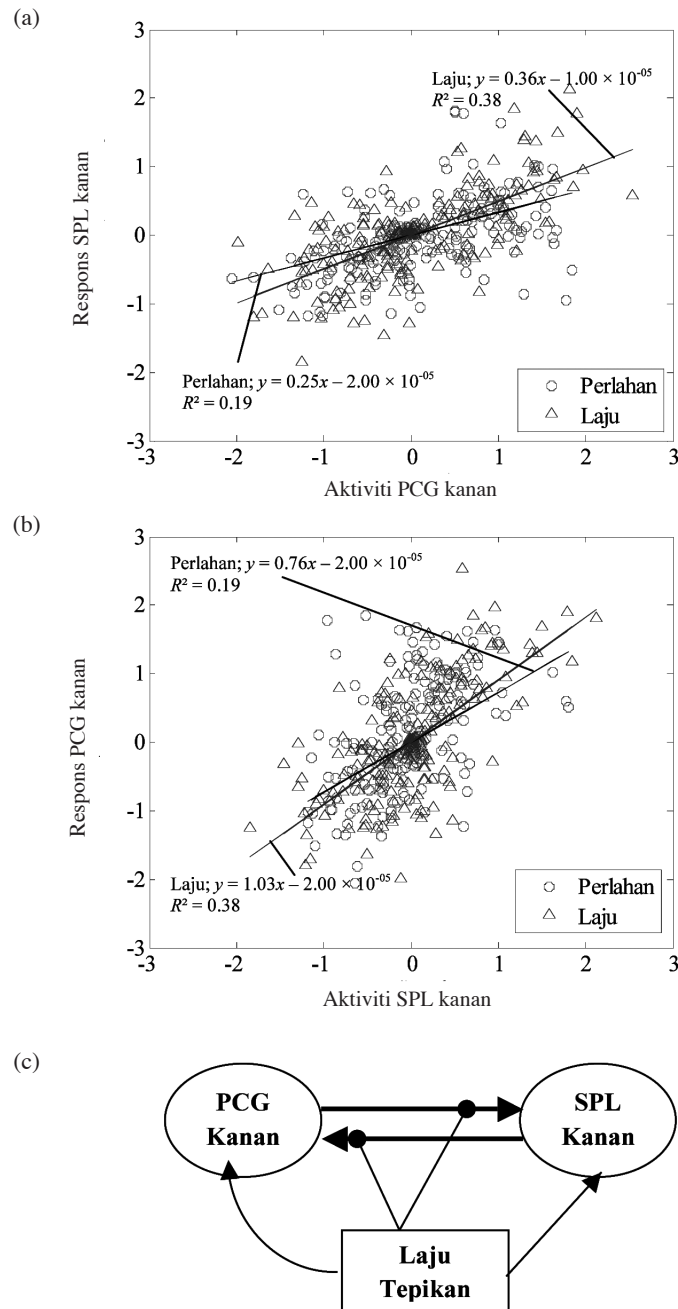
Keputusan pengaktifan otak yang diperoleh daripada analisis penolakan berganda menunjukkan bahawa PCG kanan menunjukkan respons yang lebih ketara apabila daya tepikan meningkat berbanding laju tepikan yang meningkat. Kawasan SPL pula lebih sensitif kepada peningkatan laju tepikan berbanding peningkatan daya tepikan. Keputusan

ini menyokong fungsi kedua-dua kawasan korteks tersebut (Trans Cranial Technologies 2012).

Rajah 2 dan 3 adalah keputusan analisis interaksi psikofisiologi (PPI) yang dilakukan ke atas dua kawasan korteks yang menunjukkan pengaktifan bererti pada aras keertian tinggi ($p < 0.05$) yang diperoleh daripada analisis kesan peningkatan daya dan laju tepikan yang dijelaskan sebelum ini, iaitu PCG kanan dan SPL kanan. Respons kawasan sasaran (paksi menegak) didapati meningkat secara positif, linear dan bererti ($p < 0.001$) dengan peningkatan aktiviti kawasan punca (paksi mendatar) untuk kesemua cara menepik; sentuhan, menekan, perlahan dan laju. Persamaan bagi garis terbaik yang diplotkan beserta dengan nilai R^2 ditunjukkan pada setiap rajah berkenaan.



RAJAH 2. Keputusan analisis PPI dengan daya tepikan sebagai faktor uji kaji hanya meminda kehubungan efektif dari SPL kanan ke PCG kanan



RAJAH 3. Keputusan analisis PPI dengan laju tepikan sebagai faktor uji kaji meminda hubungan efektif dari SPL kanan ke PCG kanan dan dari PCG kanan ke SPL kanan

Respons SPL kanan terhadap aktiviti PCG kanan adalah sama untuk kedua-dua tepikan secara sentuhan dan menekan, manakala respons PCG kanan terhadap aktiviti SPL kanan lebih tinggi semasa tepikan menekan berbanding tepikan menyentuh (Rajah 2(a) dan 2(b)). Rajah 2(c) adalah model PPI yang dicadangkan untuk menerangkan hubungan efektif antara PCG kanan dan SPL kanan dengan daya tepikan sebagai faktor uji kaji.

Dalam Rajah 2(a) kecerunan garis yang hampir sama untuk tepikan dengan sentuhan dan dengan daya yang meningkat menunjukkan bahawa hubungan efektif antara PCG kanan dan SPL kanan adalah bersifat sehalu dengan hubungan efektif dari SPL kanan ke PCG kanan

dipengaruhi oleh peningkatan daya tepikan, tetapi tidak sebaliknya. Dalam Rajah 2(b) pula, kecerunan kedua-dua garis adalah berbeza dengan kecerunan garis yang lebih tinggi untuk tepikan dengan daya. Ini menunjukkan kewujudan PPI dalam sifat hubungan efektif dari SPL kanan ke PCG kanan dengan daya tepikan sebagai faktor uji kaji yang mempengaruhi hubungan efektif tersebut. Hasil daripada keputusan analisis PPI ini, satu model hubungan efektif dicadangkan (Rajah 2(c)), bagi menerangkan pengaruh daya tepikan ke atas sifat hubungan antara PCG dan SPL kanan dengan tekanan tepikan sebagai faktor uji kaji. Maksud anak panah dalam model tersebut ditakrifkan dalam Rajah 1(c).

Untuk kesan laju tepikan pula, keputusan mendapati bahawa laju tepikan sebagai faktor uji kaji mempengaruhi kedua-dua hubungan antara PCG kanan ke SPL kanan dan SPL kanan ke PCG kanan (Rajah 3(a) dan 3(b)). Model PPI yang dicadangkan ditunjukkan dalam Rajah 3(c). Persamaan bagi garis terbaik yang diplotkan beserta dengan nilai R^2 ditunjukkan pada setiap rajah berkenaan. Dalam Rajah 3(a) dan 3(b), kedua-dua garis mempunyai kecerunan yang berbeza dengan kecerunan yang lebih tinggi untuk tepikan laju. PPI didapati wujud untuk plot respons SPL kanan terhadap aktiviti PCG kanan dan respons PCG kanan terhadap aktiviti SPL kanan dengan laju tepikan sebagai faktor uji kaji. Perbezaan dalam kecerunan garis untuk tepikan perlahan dan laju jelas menunjukkan bahawa laju tepikan mempengaruhi hubungan efektif dua hala antara PCG kanan dan SPL kanan. Berdasarkan keputusan analisis PPI ini, model hubungan efektif yang menghubungkan PCG dan SPL dicadangkan dalam Rajah 3(c) dengan takrifan lengkap mengenai anak panah yang digunakan diberikan dalam Rajah 1(c).

KESIMPULAN

Aktiviti tepikan jari pelbagai cara mengaktifkan kawasan korteks berkaitan motor seponya iaitu girus frontal superior kanan, girus presentral bilateral (PCG), girus postsentral bilateral, serebelum bilateral, lobus parietal kiri (SPL) dan kawasan motor tambahan (SMA). Otak manusia mengawal peningkatan daya dan laju tepikan dengan mengaktifkan kawasan PCG dan SPL lebih tinggi secara bererti berbanding tepikan secara sentuhan dan tepikan dengan kadar yang lebih perlahan. Kedua-dua kawasan tersebut juga didapati berhubungan antara satu sama lain dengan sifat hubungan efektif yang dipengaruhi oleh faktor luar iaitu daya dan laju tepikan kecuali hubungan efektif dari PCG kanan ke SPL kanan. Kajian subjek tunggal ini berupaya menjadi satu kajian awal untuk kajian subjek berbilang di masa hadapan. Ini penting dalam usaha untuk memahami dengan lebih mendalam mengenai sifat hubungan antara struktur korteks dan sifat kefungsiannya semasa suatu tugas dilakukan oleh subjek sama ada tugas tersebut berbentuk kederiaan ataupun tanggapan (kognitif) dan bagaimana sifat hubungan tersebut dipengaruhi oleh faktor uji kaji (luar). Maklumat yang diperolehi amat berguna dalam persediaan rawatan pemulihan fungsi motor otak yang terjejas akibat kecederaan, serangan angin ahmar dan penyakit.

PENGHARGAAN

Penghargaan ditujukan kepada Jabatan Radiologi, Pusat Perubatan Universiti Kebangsaan Malaysia (PPUKM) di atas kebenaran menggunakan pengimbas MRI dan kepada Sa'don Samian dan Khairiah Abdul Hamid di atas bantuan menjalankan imbasan fMRI ke atas subjek. Penyelidikan ini dibiayai oleh geran penyelidikan eScience Fund 06-

01-02-SF0548, Kementerian Sains, Teknologi dan Inovasi Malaysia.

RUJUKAN

- Ahmad, N.Z., Ismafairus, A.H.A., Khairiah, A.H., Kamil, W.W.A., Mazlyfarina, M. & Hanani, A.M. 2011. Functional specialisation and effective connectivity during self-paced unimanual and bimanual tapping of hand fingers: An extended analysis using dynamic causal modeling and Bayesian model selection for group studies. *Malaysian Journal of Medicine and Health Sciences* 7(2): 17-36.
- Friston, K.J., Buechel, C., Fink, G.R., Morris, J., Rolls, E. & Dolan, R.J. 1997. Psychophysiological and modulatory interactions in neuroimaging. *Neuroimage* 6(3): 218-229.
- Friston, K.J., Harrison, L. & Penny, W. 2003. Dynamic causal modelling. *Neuroimage* 19(4): 1273-1302.
- Friston, K.J., Penny, W.D. & Glaser, D.E. 2005. Conjunction revisited. *Neuroimage* 25(3): 661-667.
- Grefkes, C., Eickhoff, S.B., Nowak, D.A., Dafotakis, M. & Fink, G.R. 2008. Dynamic intra- and interhemispheric interactions during unilateral and bilateral hand movements assessed with fMRI and DCM. *Neuroimage* 41(4): 1382-1394.
- Koeneke, S., Lutz, K., Wustenberg, T. & Jancke, L. 2004a. Bimanual versus unimanual coordination: What makes the difference? *Neuroimage* 22(3): 1336-1350.
- Koeneke, S., Lutz, K., Wustenberg, T. & Jancke, L. 2004b. Long-term training affects cerebellar processing in skilled keyboard players. *Neuroreport* 15(8): 1279-1282.
- Lutz, K., Koeneke, S., Wustenberg, T. & Jancke, L. 2005. Asymmetry of cortical activation during maximum and convenient tapping speed. *Neuroscience Letters* 373(1): 61-66.
- Trans Cranial Technologies. 2012. Cortical Functions Reference. <http://www.trans-cranial.com/manuals>. Tarikh capaian 30 Mei 2012 12.36 pm.
- Yusoff, A.N., Mohamad, M., Hamid, A.I.A., Wan Abdullah, W.A.K., Hashim, M.H. & Zulkifli, N.Z. 2010. Functional specialisation and effective connectivity in cerebral motor cortices: An fmri study on seven right handed female subjects. *Malaysian Journal of Medicine and Health Sciences* 6(2): 71-92.

Program Pengimejan Diagnostik & Radioterapi
Pusat Pengajian Sains Diagnostik & Kesihatan Gunaan
Fakulti Sains Kesihatan
Universiti Kebangsaan Malaysia
Jalan Raja Muda Abdul Aziz
50300 Kuala Lumpur
Malaysia

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: nazlim@fskb.ukm.my

Diserahkan: 2 Oktober 2012
Diterima: 14 November 2012